

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-311713

(43)Date of publication of application : 09.11.1999

(51)Int.Cl.

G02B 6/122

(21)Application number : 10-121493

(71)Applicant : NOK CORP

(22)Date of filing : 30.04.1998

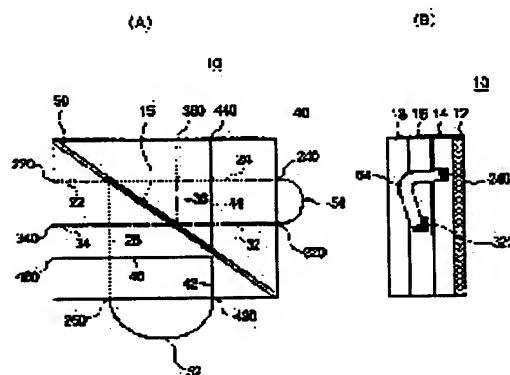
(72)Inventor : USHIJIMA SHINJI

(54) OPTICAL BRANCH WAVEGUIDE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To make the optical branch waveguide small-sized.

SOLUTION: The optical branch waveguide 10 has a 1st waveguide circuit 14, a 2nd waveguide circuit 16, and a 3rd waveguide circuit 18 stacked on a main substrate 12. The respective waveguide circuits 14, 16, and 18 each have a 1st optical waveguide 22, 24 formed linearly and a 2nd optical waveguide 26 formed linearly at a specific angle of intersection to the 1st optical waveguide and when the waveguide circuits 14, 16, and 18 are stacked, the optical waveguides are so arranged that the intersection parts of the 1st and 2nd optical waveguides are arrayed linearly. A groove 50 having specific width and specific depth is formed passing the intersection part of the 1st and 2nd optical waveguides. On one flank of the groove 50, an optical element is formed which transmits and guides part of light guided from one optical waveguide of the waveguide circuits 14, 16, and 18 to an optical waveguide on the prolongation of the optical waveguide where the light is guided and reflects and guides the rest to an optical waveguide having a specific angle of intersection to the optical waveguide where the light is guided.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's]

decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 1 1 - 3 1 1 7 1 3

(43) 公開日 平成 11 年 (1999) 11 月 9 日

(51) Int. Cl.⁶

識別記号

F I

G 0 2 B 6/122

G 0 2 B 6/12

D

審査請求 未請求 請求項の数 6

O L

(全 1 0 頁)

(21) 出願番号 特願平 10-121493

(22) 出願日 平成 10 年 (1998) 4 月 30 日

(71) 出願人 000004385

エヌオーケー株式会社

東京都港区芝大門 1 丁目 12 番 15 号

(72) 発明者 牛島 慎二

茨城県つくば市和台 25 エヌオーケー株式

会社内

(74) 代理人 弁理士 佐藤 隆久

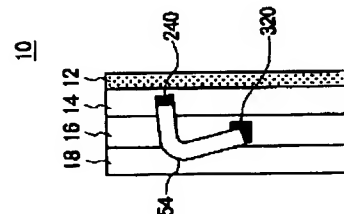
(54) 【発明の名称】 光分岐導波路

(57) 【要約】

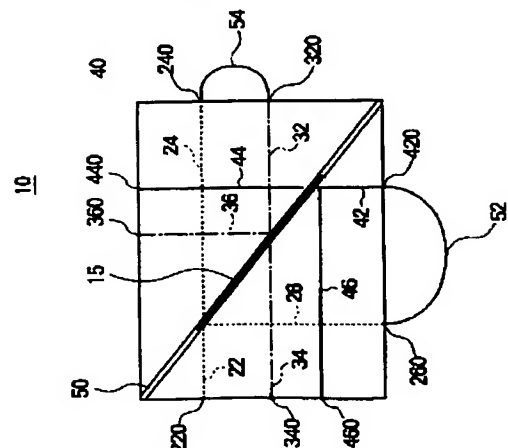
【課題】 光分岐導波路を小型にする。

【解決手段】 光分岐導波路は、主基板 1 2 に、第 1 の導波路回路 1 4、第 2 の導波路回路 1 6、第 3 の導波路回路 1 8 を積層する。各々の導波路回路 1 4、1 6、1 8 には、直線状に形成された第 1 の光導波路 2 2、2 4 と、第 1 の光導波路と所定の交差角度を持って直線状に形成された第 2 の光導波路 2 6 とが形成されており、導波路回路 1 4、1 6、1 8 が積層されたとき、それぞれの第 1 の光導波路と第 2 の光導波路との交差部が一直線並ぶように光導波路が配置される。第 1 の光導波路と第 2 の光導波路との交差部を通して所定の幅および所定の深さの溝 5 0 が形成されている。溝 5 0 の一方の側面に、導波路回路 1 4、1 6、1 8 の光導波路の一方から導波された光を一部は透過させて光が導波されてきた光導波路の延長上にある光導波路に導き、他を反射させて前記光が導波されてきた光導波路と所定の交差角度をなす光導波路に導波する光学素子 1 5 が形成されている。

(B)



(A)



【特許請求の範囲】

【請求項 1】第 1 の導波路回路（14）、第 2 の導波路回路（16）および第 3 の導波路回路（18）が積層された光分岐導波路であって、

前記第 1 の導波路回路（14）は、基板（140）と、該基板に直線状に形成された第 1 の光導波路（22、24）と、前記基板に前記第 1 の光導波路と所定の交差角度を持って直線状に形成された第 2 の光導波路（26）とを有し、

前記第 2 の導波路回路（16）は、基板（160）と、該基板に直線状に形成された第 1 の光導波路（32、34）と、前記基板に前記第 1 の光導波路と所定の交差角度を持って直線状に形成された第 2 の光導波路（36）とを有し、

前記第 3 の導波路回路（18）は、基板（180）と、該基板に直線状に形成された第 1 の光導波路（42、44）と、前記基板に前記第 1 の光導波路と所定の交差角度を持って直線状に形成された第 2 の光導波路（46）とを有し、

前記第 1 の導波路回路、前記第 2 の導波路回路および前記第 3 の導波路回路が積層されたとき、前記それぞれの第 1 の光導波路と第 2 の光導波路との交差部が一直線並ぶように、前記前記第 1 の導波路回路、前記第 2 の導波路回路および前記第 3 の導波路回路におけるそれぞれの光導波路が配置され、

前記それぞれの第 1 の光導波路と第 2 の光導波路との交差部を通して、所定の幅および所定の深さの溝（50）が形成され、

該溝の一方の側面に、前記第 1 の導波路回路、第 2 の導波路回路および第 3 の導波路回路の前記それぞれの光導波路の一方から導波された光を一部は透過させて光が導波されてきた光導波路の延長上にある光導波路に導き、他を反射させて前記光が導波されてきた光導波路と所定の交差角度をなす光導波路に導波する光学素子（15）とを有する光分岐導波路。

【請求項 2】第 1 の導波路回路（14）、第 2 の導波路回路（16）および第 3 の導波路回路（18）が積層された光分岐導波路であって、

前記第 1 の導波路回路（14）は、基板（140）と、該基板に直線状に形成された第 1 の光導波路（22、24）と、前記基板に前記第 1 の光導波路と所定の交差角度を持って直線状に形成された第 2 の光導波路（26）とを有し、

前記第 2 の導波路回路（16）は、基板（160）と、該基板に直線状に形成された第 1 の光導波路（32、34）と、前記基板に前記第 1 の光導波路と所定の交差角度を持って直線状に形成された第 2 の光導波路（36）とを有し、

前記第 3 の導波路回路（18）は、基板（180）と、該基板に直線状に形成された第 1 の光導波路（42、4

4）と、前記基板に前記第 1 の光導波路と所定の交差角度を持って直線状に形成された第 2 の光導波路（46）とを有し、

前記第 1 の導波路回路、前記第 2 の導波路回路および前記第 3 の導波路回路が積層されたとき、前記それぞれの第 1 の光導波路と第 2 の光導波路との交差部が一直線並ぶように、前記前記第 1 の導波路回路、前記第 2 の導波路回路および前記第 3 の導波路回路におけるそれぞれの光導波路が配置され、

前記それぞれの第 1 の光導波路と第 2 の光導波路との交差部を通して、所定の幅および所定の深さの溝（50）が形成され、

該溝の内部に挿入された、前記第 1 の導波路回路、第 2 の導波路回路および第 3 の導波路回路の前記それぞれの光導波路の一方から導波された光を一部は透過させて光が導波されてきた光導波路の延長上にある光導波路に導き、他を反射させて前記光が導波されてきた光導波路と所定の交差角度をなす光導波路に導波する光学素子（17）とを有する光分岐導波路。

【請求項 3】前記ある層の導波路回路から出射された光を他の層の導波路回路の光導波路に導く光ファイバが接続されている、請求項 1 または 2 記載の光分岐導波路。

【請求項 4】前記光学素子は、導波光に対して透明な有機フィルムに光学薄膜が形成されて構成されている、請求項 1 ～ 3 のいずれか記載の光分岐導波路。

【請求項 5】前記光学薄膜は、多層干渉膜または金属膜である、請求項 1 ～ 3 のいずれか記載の光分岐導波路。

【請求項 6】前記光学素子の光を透過および反射させる光分岐比が 1 : 1 である請求項 1 ～ 5 のいずれかに記載の光分岐導波路。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、たとえば光通信や自動車などの光配線部品、あるいは、産業用機器の光信号処理、光制御、光計測などに適用される、小型で、容易に製作できる光分岐導波路に関する。本発明は特に 1 / 4 光分岐導波路に関する。

【0002】

【従来の技術】光通信技術や光信号処理技術の進展により、光ファイバを介した自動車の光配線や、光信号を用いて各種の産業用機器を制御するための光計測、光信号処理などが実用化されつつある。光分岐導波路はそのような種々の分野において使用されている。光分岐導波路の適用例としては、マッハツェンダ型干渉計で構成されたものが用いられている。

【0003】従来のマッハツェンダ型光変調器を図 6 に示す。図 6 に図解したマッハツェンダ型光変調器 90 は、基板 91 に形成された入力導波路 92 と、Y 分岐型導波路 93-1、93-2 と、直線導波路 94-1、94-2 と、Y 分岐型導波路 95-1、95-2 と、出力導波路 96 と、直

線導波路94-1, 94-2の両側に設けられた電極97₁ ~ 97₄ から構成されている。入力導波路92に光が入射され、Y分岐型導波路93-1, 93-2で分岐され、直線導波路94-1, 94-2を伝搬する途中で、Y分岐型導波路93-1, 93-2に印加された電圧に応じて変調されて、変調された光がY分岐型導波路95-1, 95-2を経由して出力導波路96で合成され、出力導波路96の端部から出力される。直線導波路94-1, 94-2を伝搬する光は、電極97₁ ~ 97₄ を介して変調信号に基づいた電界を直線導波路94-1, 94-2に印加することにより、電気光学効果によりその導波路を伝搬する光の位相が変化し、出力される干渉光の強度がこの位相変化に応じて変化し、光が変調される。

【0004】図6に図解したマッハツェンダ型光変調器における入力導波路92とY分岐型導波路93-1, 93-2とは、図7および図8に図解した光分岐導波路構成している。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】図6に図解したマッハツェンダ型光変調器は、図7および図8に図解した光分岐導波路の寸法などの制約に起因する問題に遭遇している。

【0006】図7および図8に図解した光分岐導波路は寸法が大きく、小型化が困難であるという問題がある。その結果として、図6に図解したマッハツェンダ型光変調器も寸法が大きくなるという問題に遭遇している。以下、光分岐導波路が小型化できないという問題について考察する。

【0007】光変調器においては伝搬光はシングルモードでなければならないため、変調器を構成する入力導波路92とY分岐型導波路93-1, 93-2のY分岐型導波路93-1, 93-2は分岐角度 θ 、分岐光路長に設計上の制約を受ける。たとえば、ニオブ酸リチウムを使用した光分岐導波路の場合、シングルモードを維持しながら分岐するためのY分岐型導波路93-1, 93-2の分岐角度 θ は約1°と非常に小さい。その結果として、入力導波路92とY分岐型導波路93-1, 93-2とはほとんど直線状に接続しなければならない。

【0008】また、導波路のコアとクラッドの屈折率の差を小さくしてシングルモード導波路としているため、その分岐角度 $\theta = 1^\circ$ の勾配を入力導波路92に平行な導波路として、矩形基板の端面に直行して引き出すためには、光の導波路外へ漏洩を防ぐために、導波路の曲率Rを50mm以上にする必要があり、この曲率率aを5 ~ 10mm必要とする。さらに、Y分岐型導波路93-1, 93-2の接続部では導波路幅が入力導波路92側から見て2倍になり、単純に接続すると、光の反射や伝送モードの変換により伝送損失が増大する。そのため、接続部をテーパにしてゆるやかに伝送モードを変換するための余分な長さbが数mm必要になる。さらに、入

力導波路92へ光信号を送るためには、接続点での伝送モードの乱れを緩和するため、一定以上の直線導波路c、たとえば、3mm以上が必要になる。これらを合計すると、Y分岐部は全長が約15mm以上になる。

【0009】マッハツェンダ型光変調器90では、このようなY分岐型導波路を2組対向させ、さらにその間に電界印加用の直線導波路94-1, 94-2を設けなければならない。その結果、変調器全体では、40 ~ 50mm以上の長さになる。この寸法は、同様な工程をとる多くの半導体素子が一辺の長さが1mm角以下であることを比較して考えると非常に大きい。

【0010】このような長さを有する変調器では、その後の加工、部品の変形を配慮すると、基板の幅を6mm以上とする必要があり、非常に大きな部品となる。

【0011】このように、マッハツェンダ型光変調器においては、小型化が難しくサイズが大きいため、通常の半導体素子と比較して1枚の基板から採れる素子数が少ない。たとえば、一般に光部品製作に用いる3インチの基板から、ここに示したマッハツェンダ型光変調器90が採れる量は10個以下である。これは、同様な工程をとる多くの半導体素子と比較すると、非常に少ない。その結果、従来のマッハツェンダ型光変調器は、生産性が低く、コストを低減することができないという問題が生じる。

【0012】また、マッハツェンダ型光変調器には、構造が複雑であり製造が難しいという問題もある。マッハツェンダ型光変調器90のY分岐部の接続部の形状は、分岐特性、損失に影響するため、非常に精密に製造しなければならない。特に、分岐中央錐状部は0.1 μ m程度の加工精度が必要になる。その結果、非常に高精度な加工も必要となり、一層のコスト増大を招くという問題が生じる。

【0013】以上、光分岐導波路を、マッハツェンダ型光変調器90に関連づけて述べたが、光分岐導波路単体とした場合も上述した問題に遭遇している。

【0014】したがって、本発明の目的は、より小型で、製作の容易な光分岐導波路を提供することにある。

【0015】

【課題を解決するための手段】本発明の第1の観点によれば、第1の導波路回路(14)、第2の導波路回路(16)および第3の導波路回路(18)が積層された光分岐導波路であって、前記第1の導波路回路(14)は、基板(140)と、該基板に直線状に形成された第1の光導波路(22, 24)と、前記基板に前記第1の光導波路と所定の交差角度を持って直線状に形成された第2の光導波路(26)とを有し、前記第2の導波路回路(16)は、基板(160)と、該基板に直線状に形成された第1の光導波路(32, 34)と、前記基板に前記第1の光導波路と所定の交差角度を持って直線状に形成された第2の光導波路(36)とを有し、前記第3

の導波路回路（１８）は、基板（１８０）と、該基板に直線状に形成された第１の光導波路（４２、４４）と、前記基板に前記第１の光導波路と所定の交差角度を持って直線状に形成された第２の光導波路（４６）とを有し、前記第１の導波路回路、前記第２の導波路回路および前記第３の導波路回路が積層されたとき、前記それぞれの第１の光導波路と第２の光導波路との交差部が一直線並ぶように、前記前記第１の導波路回路、前記第２の導波路回路および前記第３の導波路回路におけるそれぞれの光導波路が配置され、前記それぞれの第１の光導波路と第２の光導波路との交差部を通して、所定の幅および所定の深さの溝（５０）が形成され、該溝の一方の側面に、前記第１の導波路回路、第２の導波路回路および第３の導波路回路の前記それぞれの光導波路の一方から導波された光を一部は透過させて光が導波されてきた光導波路の延長上にある光導波路に導き、他を反射させて前記光が導波されてきた光導波路と所定の交差角度をなす光導波路に導波する光学素子（１５）とを有する光分岐導波路が提供される。

【００１６】また本発明の第２の観点によれば、第１の導波路回路（１４）、第２の導波路回路（１６）および第３の導波路回路（１８）が積層された光分岐導波路であって、前記第１の導波路回路（１４）は、基板（１４０）と、該基板に直線状に形成された第１の光導波路（２２、２４）と、前記基板に前記第１の光導波路と所定の交差角度を持って直線状に形成された第２の光導波路（２６）とを有し、前記第２の導波路回路（１６）は、基板（１６０）と、該基板に直線状に形成された第１の光導波路（３２、３４）と、前記基板に前記第１の光導波路と所定の交差角度を持って直線状に形成された第２の光導波路（３６）とを有し、前記第３の導波路回路（１８）は、基板（１８０）と、該基板に直線状に形成された第１の光導波路（４２、４４）と、前記基板に前記第１の光導波路と所定の交差角度を持って直線状に形成された第２の光導波路（４６）とを有し、前記第１の導波路回路、前記第２の導波路回路および前記第３の導波路回路が積層されたとき、前記それぞれの第１の光導波路と第２の光導波路との交差部が一直線並ぶように、前記前記第１の導波路回路、前記第２の導波路回路および前記第３の導波路回路におけるそれぞれの光導波路が配置され、前記それぞれの第１の光導波路と第２の光導波路との交差部を通して、所定の幅および所定の深さの溝（５０）が形成され、該溝の内部に挿入された、前記第１の導波路回路、第２の導波路回路および第３の導波路回路の前記それぞれの光導波路の一方から導波された光を一部は透過させて光が導波されてきた光導波路の延長上にある光導波路に導き、他を反射させて前記光が導波されてきた光導波路と所定の交差角度をなす光導波路に導波する光学素子（１７）とを有する光分岐導波路が提供される。

【００１７】第１の導波路回路、第２の導波路回路、第３の導波路回路における光導波路を伝搬する光が部分反射・部分透過膜で反射・透過されて、２つの光に分岐される。

【００１８】好ましくは、前記ある層の導波路回路から出射された光を他の層の導波路回路の光導波路に導く光ファイバが接続されている。光分岐導波路の外部で、第１の導波路回路、第２の導波路回路、第３の導波路回路における光導波路を他の光導波路に接続すると、さらに２分岐される。その結果、光分岐導波路は１／４光分岐導波路として機能する。

【００１９】好ましくは、前記光学素子は、導波光に対して透明な有機フィルムに光学薄膜が形成されて構成されている。また好ましくは、前記光学薄膜は、多層干涉膜または金属膜である。

【００２０】また好ましくは、前記光学素子の光を透過および反射させる光分岐比が１：１である。

【００２１】

【発明の実施の形態】第１の実施の形態

本発明の光分岐導波路の第１の実施の形態を図１～図４を参照して述べる。図１（Ａ）、（Ｂ）は、本発明の第１の実施の形態の光分岐導波路の構成図であり、図１（Ａ）は光分岐導波路の平面図であり、図１（Ｂ）は側面図である。図２（Ａ）～（Ｃ）は図１（Ａ）に図解した光分岐導波路の製造方法を図解した図である。図３（Ａ）、（Ｂ）は、図１（Ａ）、（Ｂ）に図解した光分岐導波路の部分断面図である。図４は図１（Ａ）に図解した光分岐導波路１０における光線軌跡を説明する図である。

【００２２】光分岐導波路１０は、主基板１２に、第１の導波路回路１４、第２の導波路回路１６、第３の導波路回路１８が積層されて構成されている。主基板１２はたとえば、シリコン、ニオブ酸リチウムなどの電気光学効果を示すものを用いることができる。以下、シリコン基板について述べる。第１の導波路回路１４～第３の導波路回路１８はそれぞれ、基板１４０、１６０、１８０、たとえば使用波長に透明な基板１４０、１６０、１８０について、直線状の長い光導波路と直線状の短い導波路とがＴ字状に交差して形成されている。長い光導波路と短い導波路とは、たとえば数１０から９０度の比較的大きな交差角度で交差して形成されている。

【００２３】第１の導波路回路１４は、基板１４０に、長い直線状の光導波路２２、２４と短い直線状の光導波路２６とを有しており、交点２８において光導波路２２と２４と２６とが交差している。光導波路２２と光導波路２６とはほぼ直交している。この実施の形態においては、基板１４０はシリコンで製造されている。第１の導波路回路１４の側面に、光導波路２２の側面部２２０と、光導波路２４の側面部２４０、光導波路２６の側面部２６０が規定されている。第２の導波路回路１６は、

基板 160 に、長い直線状の光導波路 32、34 と短い直線状の光導波路 36 とを有しており、交点 38 において光導波路 32 と 34 とか 36 とが交差している。光導波路 32 と光導波路 36 とはほぼ直交している。この実施の形態においては、基板 160 はシリコンで製造されている。第 2 の導波路回路 16 の側面に、光導波路 32 の側面部 320 と、光導波路 34 の側面部 340、光導波路 36 の側面部 360 が規定されている。第 3 の導波路回路 18 は、基板 180 に、長い直線状の光導波路 42、44 と短い直線状の光導波路 46 とを有しており、交点 48 において光導波路 42 と 44 とか 46 とが交差している。光導波路 42 と光導波路 46 とはほぼ直交している。この実施の形態においては、基板 180 はシリコンで製造されている。第 3 の導波路回路 18 の側面に、光導波路 42 の側面部 420 と、光導波路 44 の側面部 440、光導波路 46 の側面部 460 が規定されている。

【0024】図 1 (A) において、第 1 の導波路回路 14 の交点 28、第 2 の導波路回路 16 の交点 38、第 3 の導波路回路 18 の交点 48 を通るように、溝 50 が形成されている。溝 50 が形成される交点 28、38、48 の領域をそれぞれ交差領域という。溝 50 と光導波路とは、たとえば、第 1 の導波路回路 14 について述べると、光導波路 22 から入射された光の光学素子 15 による光反射角度と、光導波路 26 となす角度とが一致するように形成されている。第 2 の導波路回路 16 および第 3 の導波路回路 18 における光導波路についても同様である。溝 50 は、第 1 の導波路回路 14、第 2 の導波路回路 16、第 3 の導波路回路 18 のそれぞれの光導波路と 45 度の角度をなし、幅が約 30 μm 幅で、深さがたとえば 30 μm 以上である。溝 50 の形状についてはさらに後述する。

【0025】溝 50 の一方の側面には、部分的に光を透過し、部分的に光を反射する機能を有する光学素子 15 が設けられている。部分反射・部分透過機能を有する光学素子 15 は、たとえば導波光に対して透明な有機フィルムに光学薄膜が形成されて構成され、あるいは導波光に対して透明な無機材料からなる薄板に光学薄膜（半透過反射膜）が形成されて構成される。光学素子 15 は、たとえば、第 1 の導波路回路 14 における光導波路 22 に入射され、光導波路 22 を導波された入射光の一部を透過させて光導波路 24 に導波させるとともに、入射光の一部を反射して光導波路 26 に導波させる。光学薄膜は、たとえば多層干渉膜または金属膜により構成される。部分反射・部分透過膜 15 の形成方法については後述する。

【0026】第 1 の導波路回路 14 の光導波路 26 の側面部 260 と第 3 の導波路回路 18 の光導波路 42 の側面部 420 との間に第 1 の光ファイバ 52 が接続されている。第 2 の導波路回路 16 の光導波路 32 の側面部 3

20 と第 1 の導波路回路 14 の光導波路 24 の側面部 240 との間に第 2 の光ファイバ 54 が接続されている。

【0027】第 1 の導波路回路 14、第 2 の導波路回路 16、第 3 の導波路回路 18 の製造方法について述べる。本実施の形態においては、光導波路として基板 140、160、180 のそれぞれに形成したポリマ導波路を用いる場合を示す。

【0028】第 1 の導波路回路 14 の製造方法について述べる。図 3 (A)、(B) は光分岐導波路 10 の断面の一部を示す図である。シリコンの基板 140 に、図 2 (A) および図 3 に示すように、基板 140 の上にクラッド層 141 を形成し、さらにクラッド層 141 の上にコア層 142 を形成する。クラッド層 141 はコア層 142 より屈折率の低いポリマを用い、コア層 142 のポリマをスピンコート等により塗布する。クラッド層 141 とコア層 142 のそれぞれの膜厚は最終的な導波路幅と膜厚の関係からシングルモード導波路となるように設計する。たとえば、コア層の厚さ 2 μm 、クラッド層の厚さ 4 μm で形成される。コア層 142 の上に十字に交差した光導波路 22、24 と光導波路 26 になる部分を形成する。すなわち、3~6 μm 好ましくは 4~5 μm 幅のレジストパターンをフォトリソグラフィ工法により光導波路 22、24、26 になる部分を形成し、これを酸素ガス中でリアクティブ・イオン・エッチング (RIE) 処理してコア層 142 のみをエッチングしてレジスト形状幅とコア層 142 の膜厚の矩形状の光導波路を形成する。その後、その光導波路の膜が形成された表面に再びクラッド層 143 をスピンコート等により形成する。

【0029】以上により、第 1 の導波路回路 14 が形成される。すなわち、第 1 の導波路回路 14 は、図 3

(A) に図解したように、基板 140 と、基板 140 の上に形成されたクラッド層 141 と、クラッド層 141 の上に形成されたコア層 142 と、コア層 142 の上に形成された光導波路 22、24、26 と、光導波路の上を包囲して形成されたクラッド層 143 とで構成されている。

【0030】第 2 の導波路回路 16 および第 3 の導波路回路 18 も、第 1 の導波路回路 14 と同様に形成する。ただし、第 1 の導波路回路 14 における光導波路 22、24、26 の位置と、第 2 の導波路回路 16 における光導波路 32、34、36 と位置、第 3 の導波路回路 18 における光導波路 42、44、48 の位置は、これら導波路回路 14、16、18 を積層した場合、図 1 (A) のごとき位置関係になるように規定する。本実施の形態においては、各層の導波路回路 14、16、18 における光導波路はそれぞれ、図 1 (A) に図解したように、上下左右に 200 μm 離して形成する。

【0031】以上のように形成した、第 1 の導波路回路 14、第 2 の導波路回路 16、第 3 の導波路回路 18 を

主基板12の上に積層する。この積層のとき、第1の導波路回路14の交点28、第2の導波路回路16の交点38、第3の導波路回路18の交点48が、溝50の形成において一直線に並ぶように位置合わせを行う。

【0032】次に、ダイシングソーで約 $30\mu\text{m}$ のメタルブレードを使用し直交する光導波路と45度の角度で基板に垂直な深さ $30\mu\text{m}$ 以上の溝50を形成する。

【0033】次に、溝50の一方の側壁に、それぞれの光導波路に対して所望の光分岐比、本実施の形態においては、1:1の光分岐比を得るために、多層干渉膜、金属膜等の光学薄膜からなる部分反射・部分透過機能を有する光学素子15を形成する。

【0034】光学素子（部分反射・部分透過膜）15の形成を述べる。基板表面に電極42、44、48が存在する場合には、表面の光学薄膜を除去しておかなければならない場合がある。そのような場合には、従来のように薬品を用いる湿式エッチングやプラズマによる乾式エッチングによりエッチング除去する方法を採することができるが、その場合、導波路基板へのダメージが危惧される。本実施の形態においては、蒸着またはスパッタリングにより導波路基板へダメージを与えることなく、基板表面の光学薄膜除去を確実に行うことができる。部分反射・部分透過膜15が溝50の一方の側壁に形成されるように、図3（A）に示すように、溝50が形成された光分岐導波路10を傾斜させて、多層干渉膜、金属膜等の光学薄膜の材料を溝50の一方の面に向けて蒸着またはスパッタリングする。それにより、溝50の内壁の一方に部分反射・部分透過膜15となる部分と、第3の導波路回路18の上部に剥離膜が形成される。

【0035】すなわち、部分反射・部分透過膜15を、蒸着またはスパッタリングによって形成する際、あらかじめ光導波路基板の表面に剥離可能な膜を形成しておく。次いで、溝加工を行った後、図3（A）に示すように、光学薄膜が溝50の側面に形成されるように、光分岐導波路10を傾斜させてこれを蒸着またはスパッタリングする。しかる後、図3（B）に示すように、光導波路基板表面の膜をその上の光学薄膜とともに剥離除去する。このとき、剥離する膜として、たとえば水溶性の有機膜等を用いれば、水洗による剥離が可能で、基板に与える影響もほとんど考慮することなく、光学薄膜の除去が可能となる。

【0036】部分反射・部分透過膜15は、光が伝搬される第1の導波路回路14のコア層142、第2の導波路回路16のコア層162、第3の導波路回路18のコア層182と接しているように形成される。

【0037】また、45度半透過反射膜15の形成には、空間光学系におけるハーフミラーの作製技術が利用され得る。あるいは、部分反射・部分透過膜15は、導波光に対して透明な有機フィルムに光学薄膜が形成できる。また部分反射・部分透過膜15は、多層干渉膜また

は金属膜で形成できる。

【0038】溝50の深さは、部分反射・部分透過膜15が第1の導波路回路14のコア層142と接する位置より深い位置である。第1の導波路回路14の基板140の途中、または、主基板12の近傍まで溝50が形成されてもよい。

【0039】その後、導波路に直角に交差点を含む矩形状にダイシングソーを用いて、図1（A）に図解した単体の光分岐導波路を切り出す。

【0040】その後、第1の光ファイバ52および第2の光ファイバ54を用いて、各層の導波路の相互間を接続する。第1の光ファイバ52、第2の光ファイバ54の固定は、光学軸調整が終わった後、接着剤などで固定する。これにて、光分岐導波路10が完成する。

【0041】なお、第1の光ファイバ52および第2の光ファイバ54を接続することは本発明の光分岐導波路において必須の要件ではない。第1の光ファイバ52および第2の光ファイバ54を接続しないときは、それぞれの出力部から2分岐した光が射出されるから、光分岐導波路は単なる1/2光分岐導波路として機能する。他方、第1の光ファイバ52および第2の光ファイバ54を接続したときは、下記に詳述するように、光分岐導波路は1/4光分岐導波路として機能する。

【0042】図4を参照して光分岐導波路10における光分岐の作用を述べる。強度Pで第1の導波路回路14の光導波路22の側面部220に入射光INが入射されると、その入射光は光導波路22内を伝搬されて行き、部分反射・部分透過膜15に到達する。部分反射・部分透過膜15は強度1/2で、光導波路26に反射光と、光導波路24に透過光を分岐する。光導波路26に反射された導波されて光は光導波路26を伝搬されて側面部260から第1の光ファイバ52に入射される。第1の光ファイバ52に入射された光は第3の導波路回路18の光導波路42の側面分420を介して光導波路42に導波される。光導波路42に導波された光は光導波路42の内部を導波されて部分反射・部分透過膜15に到達する。部分反射・部分透過膜15は入射された光の強度を1/2にして半分を光導波路46に反射し、半分を光導波路44に反射する。すなわち、光導波路46には入射光INの強度の1/4の強度の光が導波されて、その内部を伝搬してその側面部460から出力される。同様に、光導波路44には入射光INの強度の1/4の強度の光が導波されて、その内部を伝搬してその側面部440から出力される。光導波路24に反射された導波されて光は光導波路24を伝搬されて側面部240から第2の光ファイバ54に入射される。第2の光ファイバ54に入射された光は第2の導波路回路16の光導波路32の側面分320を介して光導波路32に導波される。光導波路32に導波された光は光導波路22の内部を導波されて部分反射・部分透過膜15に到達する。部分反射

・部分透過膜 15 は入射された光の強度を $1/2$ にして半分を光導波路 36 に反射し、半分を光導波路 34 に反射する。すなわち、光導波路 36 には入射光 IN の強度の $1/4$ の強度の光が導波されて、その内部を伝搬してその側面部 360 から出力される。同様に、光導波路 34 には入射光 IN の強度の $1/4$ の強度の光が導波されて、その内部を伝搬してその側面部 340 から出力される。すなわち、光分岐導波路 10 は、強度 P の入射光 IN を光導波路 22 の側面部 220 に入射させると、側面部 340、460、360、440 から、それぞれ強度 $1/4$ の光を出力する。したがって、光分岐導波路 10 は $1/4$ 光分岐導波路として機能する。

【0043】なお、予め第 1 の導波路回路 14、第 2 の導波路回路 16、第 3 の導波路回路 18 のシリコン基板の側面部 260、420、240、320 に第 1 の光ファイバ 52、第 2 の光ファイバ 54 を接続する V 溝をエッチングにより形成させておくことにより、ファイバの位置合わせ、部品作製工程減を図れ、接続工程の簡素化が可能となる。

【0044】工業的に生産する場合には、たとえば 3 インチの基板全面に、たとえば 1mm ピッチの直交する網状の光導波路を形成した後、その光導波路に格子の交点を通る導波路に 45 度をなす溝 50 を全面に加工する。部分反射・部分透過膜 15 が溝 50 の一方の側壁に形成されるように、光分岐導波路 10 の基板を傾斜させて、多層干渉膜、金属膜等の光学薄膜を蒸着またはスパッタリングする。しかる後、これをダイシング用支持膜に張りつけ、ダイシングソーで格子の中間点を通る導波路に直角（平行）直線で切断して多数個の光分岐導波路を得ることができる。

【0045】上記した例の生産工程は、本素子作製の一つの例であり、工程順に変更、接着剤の塗布方法、導波路の材料、導波路形成方法はそれぞれの材料、目的仕様により変更しても、本発明の主旨を損なうものではない。

【0046】第 1 の導波路回路 14、第 2 の導波路回路 16、第 3 の導波路回路 18 の積層関係は、上述した例示に限らず、その積層順序を変更することができる。また、第 1 の導波路回路 14、第 2 の導波路回路 16、第 3 の導波路回路 18 における光導波路の配置を変更することもできる。特に、長い光導波路と短い光導波路との交差角度を上述した 90° から変更した場合は、上述した光導波路の配置と変えることもできる。しかしながら、部分反射・部分透過膜 15 における反射およびどうか考慮して、光導波路の交差角度と配置を決定する。

【0047】本実施の形態によれば、3 層のそれぞれの導波路回路 14、16、18 について、使用波長に透明な基板 140、160、180 のそれぞれについて直線状をなす 2 本の光導波路 22・24 と 26、32・24 と 36、42・44 と 46 を、数 10 または 90° の角

度で交差させて形成し、光導波路 22・24 と光導波路 26 との交差領域を含むように、光導波路と所定の角度をなし、深さがコア層 142 の深さ以上に設定した溝 50 を形成し、溝 50 の一側壁に第 1 の導波路回路 14 のコア層 142 まで到達する深さの部分反射・部分透過機能を有する光学素子 15 を形成している。その結果、Y 分岐導波路のように複雑なテーパー形状の光導波路部分、大きな半径の曲線導波路部分を要せず、光出力端部は光ファイバが接続できるように分離され、形状は従来の部品に較べ小型になる。

【0048】光分岐導波路 10 は、従来の光分岐導波路と比較すると、大幅の小型になる。上述した実施の形態においては、部分反射・部分透過膜 15 を形成する溝 50 の幅は約 $30\mu\text{m}$ であり、光導波路の幅が $5\sim 10\mu\text{m}$ であり、光ファイバ径を $125\mu\text{m}$ であり、3 層構造の $1/4$ 光分岐導波路としたとき、その作業性を考慮しても、1 辺が 1mm 以下の寸法に製造できる。この寸法は、従来の $1/4$ 光分岐導波路と比較すると、 $1/100$ の寸法である。1 枚の材料基板からは、二次元的な見地から、約 $1/10000$ 倍の光分岐導波路が採れることになる。したがって極限として、光分岐導波路を、接続する第 1 の光ファイバ 52、第 2 の光ファイバ 54 の直径に相当する $125\mu\text{m}$ 角の小型の部品とすることができ

る。

【0049】本実施の形態の光分岐導波路 10 は比較的大きな交差角で製作されることから、分岐部の形状は比較的容易に得られる。

【0050】損失、分岐比といった部品の特性は、部分透過・部分反射膜に依存することから、本実施の形態の光分岐導波路 10 は特性の管理が容易になる。

【0051】光分岐導波路 10 において、外部回路との接続は、第 1 の光ファイバ 52、第 2 の光ファイバ 54 を直接接続することが可能であり、さらに、基板端面の導波路開口に直接受光素子や発光素子を接着することも可能である。

【0052】本実施の形態の光分岐導波路 10 は寸法が比較的小さいことから、取り扱いを容易にするために、この光分岐導波路 10 を支えるこの基板より大きく安価な支持基板にこの基板を固定して、その支持基板に V 溝を設けて光ファイバを接続したり、その支持基板に受光素子や発光素子を固定して、導波路と固定することも可能である。勿論、その支持基板に電気配線を設けて受発光ユニットとすることもできる。

【0053】本実施の形態の光分岐導波路は、基板上に複数配置した $1 \times N$ の光分岐導波路回路、他の光導波路回路と複合した光導波路回路、これに電気光学効果、圧電効果、表面弾性波効果を利用した光機能デバイスにも利用できる。

【0054】本実施の形態の光分岐導波路によれば、従来とほぼ同一のプロセスで高い収量が得られ、また設備

の一素子当たりの稼働効率が向上し、さらには歩留りを向上でき、低コスト化を実現できる等の利点を有する。

【0055】第2実施の形態

図5 (A)、(B)を参照して本発明の光分岐導波路の第2実施の形態を述べる。図5 (A)は光分岐導波路の平面図であり、図5 (B)は側面図である。

【0056】第2実施の形態の本光分岐導波路10Aは、図1～図4を参照して記述した大の実施の形態の光分岐導波路10に対して、溝50Aに挿入した部分反射・部分透過膜17が異なる。主基板12、第1の導波路回路14、第2の導波路回路16、第3の導波路回路18は第1の実施の形態のものと同様である。溝50Aは第1の実施の形態の溝50と同様である。すなわち、溝50Aは、第1の光導波路、たとえば、22と、第3の光導波路、たとえば、26との交差領域を含むように、これらの光導波路と45度の角度をなし、幅が約30μm幅で、深さが約30μmである。

【0057】溝50Aには、少なくとも溝50Aの第1の光導波路、たとえば、22と第3の光導波路、たとえば、26との交差領域を含むように、第1の光導波路22を導波された入射光の一部を透過させて第2の光導波路24に導波させるとともに、入射光の一部を反射して第3の光導波路26に導波させる部分反射・部分透過機能を有する光学素子17が挿入されている。

【0058】部分反射・部分透過機能を有する光学素子である部分反射・部分透過膜(45度半透過反射膜)17は、たとえば導波光に対して透明な有機フィルムに光学薄膜が形成されて構成され、あるいは導波光に対して透明な無機材料からなる薄板に光学薄膜(半透過反射膜)が形成されて構成される。

【0059】また、部分反射・部分透過膜17は、たとえば多層干渉膜または金属膜により構成される。また、部分反射・部分透過膜17は、たとえばポリイミドフィルムや硝子フィルム等に多層干渉反射膜等の光学薄膜を蒸着、スパッタ等膜形成技術により形成することができる。さらに、部分反射・部分透過膜17の形成には、空間光学系におけるハーフミラーの作製技術が利用できる。

【0060】図5 (A)に図解した光分岐導波路10Aにおける光線軌跡は、図4を参照して述べた光線軌跡と全く同じである。

【0061】第2の実施の形態の光分岐導波路10Aも、第1の実施の形態の光分岐導波路10と同様の効果を奏することができる。すなわち、従来の光分岐導波路におけるY分岐導波路のように複雑なテーパ形状の光導波路部分、大半径の曲線導波路部分を要せず、光出力端部は光ファイバが接続できるように分離され、形状は従来の部品に比べ小型になる。さらに本光分岐導波路は、基板上に複数配置した1×Nの光分岐導波路回路、他の光導波路回路と複合した光導波路回路、これに電気光学

効果、圧電効果、表面弾性波効果を利用した光機能デバイスにも利用できる。

【0062】また本実施の形態の光分岐導波路は、従来と略同一のプロセスで高い収量が得られ、また設備の一素子当たりの稼働効率が向上し、さらには歩留りを向上でき、低コスト化を実現できる等の利点を有する。

【0063】

【発明の効果】本発明によれば、従来の光分岐導波路に比べ小さくでき、ひいては光導波路部品の小型化を実現できる。本発明によれば、従来と略同一のプロセスで高い収量が得られ、製造設備の一素子当たりの稼働効率が向上し、低コスト化を実現できる。本発明によれば、光分岐導波路の小型化によりプロセスの均一性の要求度が、従来の分岐に比較して低下し、その結果歩留りが向上し、この点でも低コスト化を実現できる。本発明の光分岐導波路には、鋭い屈曲部、曲線部がないことから、フォトリソグラフィ工程の加工精度が緩和され、設備の低価格化、歩留りの向上によりコストを低減できる。本発明の光分岐導波路は、分岐特性が導波路の複雑な形状に依存せず、別プロセスで製作される光学薄膜に依存するので、特性の管理が容易で、特性の均一化、性能の向上を図れる利点がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1 (A)、(B)は、本発明の第1の実施の形態の光分岐導波路の構成図であり、図1 (A)は光分岐導波路の平面図であり、図1 (B)は側面図である。

【図2】図2 (A)～(C)は図1 (A)に図解した光分岐導波路の製造方法を図解した図である。

【図3】図3 (A)、(B)は、図1 (A)、(B)に図解した光分岐導波路の部分断面図である。

【図4】図4は図1 (A)に図解した光分岐導波路10における光線軌跡を説明する図である。

【図5】図5 (A)、(B)は、本発明の第2の実施の形態の光分岐導波路の構成図であり、図5 (A)は光分岐導波路の平面図であり、図5 (B)は側面図である。

【図6】図6は従来のマッハヘンダ型光変調器の平面図である。

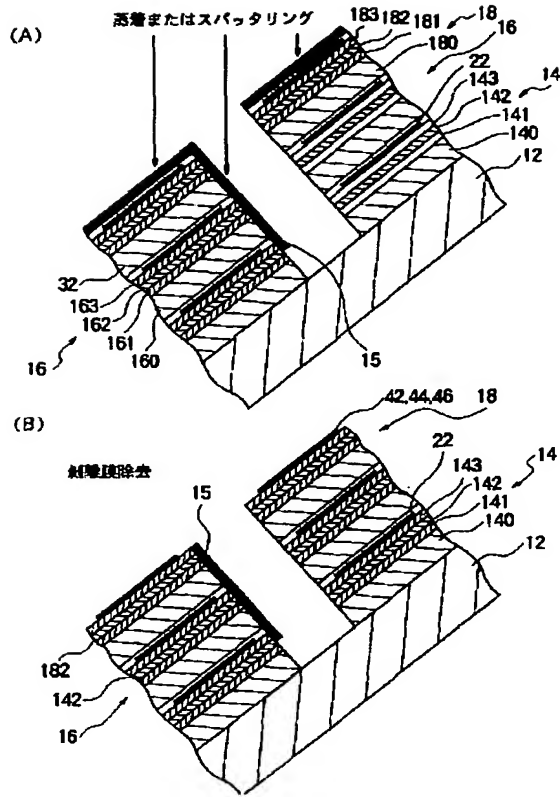
【図7】図7は図6に図解したマッハヘンダ型光変調器における入力導波路とY分岐型導波路の平面図である。

【図8】図8は図7に図解した光導波路の寸法を図解した図である。

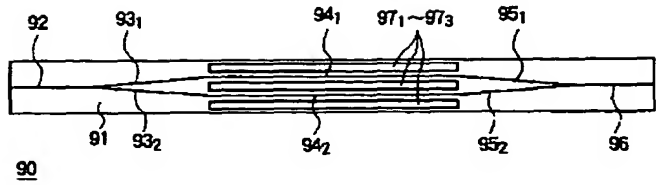
【符号の説明】

10・・・光分岐導波路
12・・・主基板
14・・・第1の導波路回路
140・・・基板
141・・・クラッド層
142・・・コア層
143・・・クラッド層
22, 24, 26・・・光導波路

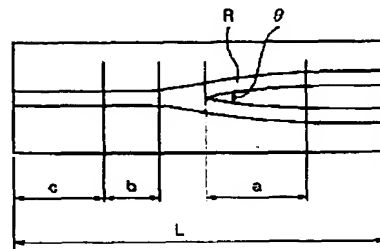
【図 3】



【図 6】



【図 8】



【図 5】

